

# 勘察技术在城市灾害地质研究与治理中的应用

高金川, 林 彤

(中国地质大学工程学院, 武汉 430074)

[摘要] 主要综述了勘察技术在地面沉降、地裂缝、滑坡、岩溶塌陷等城市灾害地质勘察研究及治理方面的应用, 以促进勘察技术在城市灾害地质研究领域的推广应用。

[关键词] 勘察技术 城市灾害地质 地面沉降 地裂缝

[中图分类号] TU195+.1 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2000)02-0016-03

城市灾害地质是一个困扰人类的全球性地质问题。在我国, 无论是沿海城市, 还是内陆城市, 由于各种内外动力地质作用和人类工程活动影响, 地面沉降、地裂缝、滑坡、岩溶塌陷等地质灾害尤为突出。在勘查这些地质灾害的分布范围、活动特征, 研究其孕育、演化、活动规律, 采取防范措施和治理的过程中, 勘察技术的应用占有了相当重要的地位。而且随着工程建设的进展和城市灾害地质研究的深入, 新的勘察技术方法亦得到了广泛的应用。

## 1 地面沉降方面

人为地大量抽吸地下承压水和建筑荷载等原因, 使含水砂层和粘性土层释水压密、固结, 产生压缩变形, 从而导致地表大面积均匀下沉或非均匀下沉的地面沉降, 使城市的工程结构破坏, 地面标高降低, 引发一系列的不良后果, 成为大、中城市的一大顽症。

70 年代以前, 天津、上海曾是我国地面沉降最为严重的城市, 80 年代后, 陕西西安、山西太原、江苏苏州、无锡、常州等城市的地面沉降日趋严重。在几十年的沉降原因及其控沉治理研究中, 勘察技术的应用, 为地面沉降机理量化分析、控沉治理措施的

选取提供了大量的水文地质、工程地质资料, 由近十年来的沉降观测资料表明各城市地区的控沉工作均取得了可喜的成绩。

(1) 在工程地质测绘和调查的基础上, 建立大地水准监测网, 是研究地面沉降的前提。近几年, 天津、江苏苏州、无锡和常州等一些城市已经开始或筹划把高精度全球卫星定位系统 (GPS) 与高精度水准监测系统结合, 建立区域地质灾害监测体系和预报系统。

(2) 钻探设置分层沉降标和基岩标, 进行长期观测, 得到各个含水层的压缩沉降量及对于总沉降量的贡献比例, 如表 1 所列。结合地下水位观测数据、开采量统计数据, 建立地面沉降、地下水位、开采量之间的相关关系。在充分分析第四纪地质结构、构造、地下水特征和土层工程地质特征的基础上, 建立拟三维水流与一维沉降耦合模型, 对地面沉降进行更深入的量化研究。例如, 西安市设置了一组 6 个分层沉降标, 最深达 367.28 m, 天津市设置 9 组分层沉降标, 最深达 650 m, 同时, 在不同开采段设置了一定数目的水位观测孔和开采量统计点, 使得沉降研究资料系统化、时序化。

表 1 西安市地质技工学校分层标测量结果分析

年份	地面沉降总量 (mm)	0~100 m 地层压密度 (mm) 及占总沉降量百分比 (%)		100 m~300 m 地层压密度 (mm) 及占总沉降量百分比 (%)		300 m 以下地层压密度 (mm) 及占总沉降量百分比 (%)	
1992	131.67	23.62	17.94	95.51	72.54	12.54	9.52
1993	114.60	12.75	11.13	84.44	73.68	17.41	15.19
1994	117.13	10.28	8.78	92.44	78.92	14.41	12.30
1995	108.69	10.44	9.60	86.13	79.25	12.12	11.15
1996	96.36	8.29	8.60	82.82	85.95	5.25	5.45
平均	113.69	13.08	11.50	88.27	77.64	12.35	10.86

表中数据收集于陕西省环境监测总站。

(3) 在不同含水岩组钻探取样, 进行室内土工试验, 分析岩土层的物理力学性状, 进行地面沉降的工

[收稿日期] 1999-12-08; [修定日期] 2000-01-12; [责任编辑] 王梅。

程地质分层和分区。运用岩土力学、土质学理论分析其不同固结程度下沉降机理,为进行物理模拟,建立数学模型积累资料。在西安地面沉降研究中,劳动公园、八里村、地质技校、肖家村的 4 个深孔原状土样高压固结试验结果表明:西安市地下水开采深度(300 m)以内土层均为超固结土,明显不同于天津、上海等沿海城市的地层条件,然而,就其年均开采量而言,地面沉降的速率不应超过 30 mm/a,但实际上,几个沉降漏斗中心的累积沉降量已近 2000 mm,沉降量如此之大,何故?经分析岩土层性质特征、区域地质特征和多次模拟试验认为:西安地面沉降加剧是地裂缝活动造成超固结土体松动,再在过量抽取地下承压水条件下由土体松动再压密、土层失水压密和砂层排沙压密共同所致<sup>[1]</sup>。

(4) 一些现场原位测试,如抽水压密试验、流变试验、反复载荷试验、波速测试也是评价地面沉降及其发展趋势的常用技术方法。

(5) 针对砂层、粘性土层的压密原理,遵循“水要采,地微沉”的城市发展现实,在不同沉降部位的不同含水岩组打回灌井,在用水淡季进行人工补给符合标准的地下水,以抑制地面沉降。上海、天津、陕西西安、江苏苏州、无锡和常州等城市进行地下水人工补给回灌,其控沉效果非常明显。

## 2 地裂缝方面

构造和非构造成因的地裂缝,在陕西西安、山西大同、江苏、安徽的一些城市地区第四系覆盖层中发育,给市政工程建筑和工农业生产造成的危害不亚于地面沉降。尤其是西安市发育的 11 条地裂缝带,其活动规模和造成的直接和间接经济损失之大已引起了国内外灾害地质学者的关注。在西安地裂缝的研究中,勘探技术发挥了其重要作用。

(1) 在地裂缝研究初期,野外踏勘、追踪地裂缝形迹,进行工程地质测绘和调查的大比例尺填图,是查明地裂缝带几何展布特征、地表破裂形状、区域分布范围及致灾程度的首选方法。

(2) 工程物探在地裂缝研究初期和继续研究阶段,主要作为一种槽探和钻探的先行手段,和原位测试手段配合进行。其中,浅层高分辨率人工浅地震方法在查明地裂缝的埋置深度,延伸深度及与西安盆岭地貌的成因关系方面是其它勘探方法不可替代的。直流视电阻率法、瑞雷波法、甚低频法测试结果(如图 1)及 径迹测试、数字闪烁仪测试在估测隐伏地裂缝位置,确立地裂缝影响宽度,划分稳定建筑

场地方面非常直观、有效。

(3) 钻探、槽探在单条地裂缝带的勘查中是必须的。通过地裂缝两盘布设的钻孔揭穿地层标志层(如某一层古土壤)情况和垂直地裂缝带布置的探槽剖面(如图 2)中获取的信息资料,确定地裂缝的倾向、走向、剖面几何组合关系和宏观的降、张、扭三维活动情况。

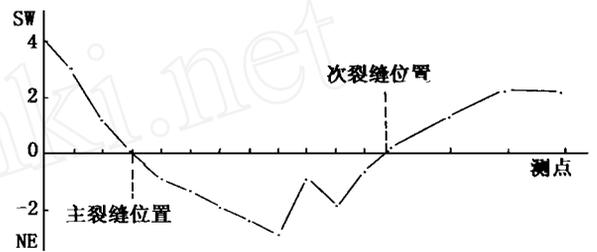


图 1 西安市野狐庄甚低频测试曲线  
(据陕西省第一水文队)

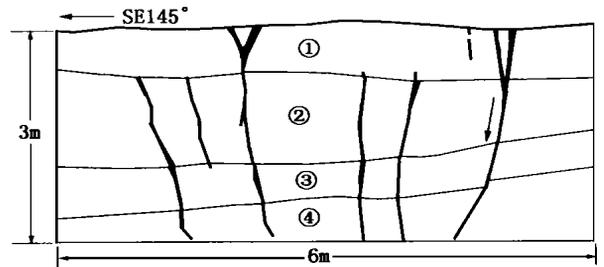


图 2 西安市地质技校探槽剖面示意图  
(据陕西省第一水文队)

- $Q_4^2$  填土; - $Q_4^1$  古土壤; - $Q_3^2$  黄土状土;  
- $Q_3^2$  古土壤

(4) 分层沉降标、水准导线的设置及测量结果结合 DSJ 型断层活动测量仪、MD4412 型浮子式垂直变形测量仪测量数据,是研究地裂缝活动与地面沉降关系、地裂缝成因机制、建立数学模型的关键。比如,西安地裂缝多因素影响的 GM(1, N) 数学模型<sup>[2]</sup>、灰色关联度模型均是在以上测量资料的基础上建立的。

## 3 滑坡方面

由于大气降水、地下水、边坡开挖等因素而诱发滑坡,在地貌单元较复杂的城市地区常见,其对人口稠密、经济建筑集中的城市造成的灾害是灾难性的。勘察技术在滑坡勘察、预测预报、防治的各个工作环节中,均得到应用,而且取得了一定的社会、经济效益。

(1) 踏勘、钻探取样,进行室内土工试验,包括常规项目和渗透试验、动三轴试验、重塑土(或原状土)

多次直剪试验、环剪试验、岩石强度试验等,测试滑坡岩土体的物理力学性质指标,使滑坡监测、预报更为准确、实时,治理措施更有针对性。

(2)一些原位测试技术用于测定滑动面岩土体的抗剪强度参数。如现场大型直剪试验、现场三轴试验为重庆市北温泉公园后坡滑坡、菜元坝滑坡、制药五厂滑坡的稳定性分析提供了重要参数。此外,波速测试、静力触探在测取岩体介质的剪切模量、弹性模量、孔隙水压力方面也有应用。

(3)工程物探在滑坡的勘察和治理中应用逐渐得到加强。如反射波、绕射波地震勘探测定滑坡范围、滑体厚度、滑动带底板埋藏深度及滑面附近的裂隙带;直流自然电场法、直流视电阻率法查明滑坡体中岩土介质性质和地下水系统,获取滑体及一定范围内的水文地质资料;探地雷达、氦粒子放射性测定、甚低频方法在确定滑面位置、滑坡体结构方面的准确、高效已经得到了证实。

(4)硃探或小口径的钻探技术引排水工程亦是滑坡治理中的一个重点。此外,在钻孔灌注桩和人工挖孔桩、小孔径密抗桩等抗滑桩施工及小口径钻孔注浆加固改良土体、预应力锚索、锚杆加固稳定深部非稳定土体的施工过程中,定向钻进、无冲洗液钻进、井探、硃探是其关键性工序之一。

#### 4 岩溶塌陷

岩溶塌陷是岩溶区的主要环境地质灾害,在桂、黔、湘、赣、川、滇、鄂的部分城市造成的地质灾害亦不可忽视。因此,在岩溶塌陷的勘察和防治过程中,

勘察技术的应用也是“功不可没”。

桂林市中心体育场岩溶塌陷,陷坑直径9.5 m,深5 m,造成经济损失近千万元,其在勘察和治理中,钻探和直流视电阻率法、放射性测量获取了大量水文地质、工程地质资料。武汉市陆家街、中南轧钢厂、安徽铜陵的岩溶塌陷勘察中,钻探取样、波速测试、井下电视均发挥了其重要作用。

以上是勘察技术在主要城市灾害地质研究中的应用,也是作者在多年工程地质勘察研究及治理中的经验总结。除此所述外,一些“山城”中坍塌地质灾害也有发生,在其治理中,削坡减载、排水、小口径钻孔灌浆处理也与勘察技术方法的运用关系密切。

#### 5 结束语

勘察技术种类多,内涵丰富,获取资料的信息多,可比性强,在城市灾害地质的研究中发挥了重大作用,但也存在受场地、人为因素和仪器设备本身等因素影响,勘察成果数据离散之现象。在今后工程经济建设的发展和区域构造活动中,新的地质灾害还会出现,旧的地质灾害可能会反弹,故在长期和艰苦的城市灾害地质研究和治理过程中,各种勘察技术方法会得到进一步的改进和开发,会更好地为城市灾害地质研究服务。

[参考文献]

- [1] 赵其华,等.西安地面沉降与地裂缝关系的量化分析[J].地质灾害与环境保护,1994,5(1):10~13.
- [2] 高金川,等.西安地裂缝活动多因素影响的GM(1,N)数学模型[J].地壳形变与地震,1999,19(1):58~64.

### APPLICATION OF EXPLORATION TECHNIQUES IN CITY HAZARD GEOLOGY RESEARCH

GAO Jin - chuan, LIN Tong

**Abstract:** The paper mainly presents application about exploration techniques in city hazard geology research such as land subsidence, ground fissure, landslide, karst subsidence in order to accelerate the extension of the exploration techniques in this field.

**Key words:** exploration technique, city hazard geology, land subsidence, ground fissure



第一作者简介:

高金川(1963年-),女。1986年毕业于成都地质学院水文系工程地质专业。1986年~1995年在陕西省第一水文地质工程地质队,主要从事工程地质勘察和城市灾害地质研究工作。1996年~至今在中国地质大学(武汉)工程学院从事岩土工程勘察、基础工程施工和边坡治理方面的教学和科研工作。

通讯地址:湖北省武汉市 中国地质大学工程学院 邮政编码:430074